

FITOINDYKACYJNA OCENA WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH ODŁOGÓW NA OBSZARZE ZANIECZYSZCZONYM METALAMI CIĘŻKIMI*

JAN ZARZYCKI¹, AGNIESZKA PETRYK²

¹*Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków*

²*Katedra Gospodarki Regionalnej, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie,
ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków*

Synopsis. Badania przeprowadzono w latach 2010–2012 na odłogach położonych w gminie Trzebinia (Małopolska), miejscami silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Na 75 powierzchniach badawczych określono skład gatunkowy roślinności, na podstawie którego obliczono liczby wskaźnikowe Ellenberga: uwilgotnienia (F), odczynu (R), zasobności gleby w azot (N) i temperatury (T) oraz pokrycie roślinnością i jej średnią wysokość. Na każdej powierzchni pobrano próby glebowe, w których oznaczono: skład granulometryczny, zawartość materii organicznej, przewodność elektrolityczną, odczyn gleby oraz zawartość Cd, Zn, Pb i Cu. W składzie gatunkowym roślinności dominowały gatunki łąkowe i ruderalne. Największe zróżnicowanie liczb wskaźnikowych stwierdzono w odniesieniu do zasobności gleby w N i jej uwilgotnienia. Liczby wskaźnikowe T, R, N skorelowane były ze składem granulometrycznym gleby oraz zawartością materii organicznej i przewodnością elektrolityczną. Liczby wskaźnikowe F i N powiązane były z produktywnością, wyrażoną pokryciem roślinnością i średnią wysokością roślin, a zawartość metali ciężkich ze wskaźnikiem odczynu R. W niewielkim stopniu wielkość poszczególnych wskaźników zależała od kompleksu glebowo-rolniczego.

Słowa kluczowe: liczby wskaźnikowe, roślinność odłogów, zanieczyszczenie metalami ciężkimi

WSTĘP

Przemiany socjo-ekonomiczne i polityczne prowadzą do zmiany sposobów użytkowania gruntów, między innymi do zaniechania uprawy. W Polsce proces odłogowania nasilił się szczególnie po transformacji ustrojowej po 1989 roku i dotyczył w pierwszej kolejności gleb najsłabszych [Marks i Nowicki 2002]. Obecnie na wielu obszarach odłogowane są także grunty orne dobrej jakości, jednak położone w regionach, gdzie ludność jest w stanie osiągnąć wyższe dochody ze źródeł pozarolniczych. Dodatkowym czynnikiem mogącym wpływać na wyłączenie pól z uprawy jest wysoki poziom zanieczyszczenia środowiska.

Grunty wyłączone z uprawy ulegają wtórnej sukcesji, której końcowym etapem jest las w naszej strefie klimatycznej. Nie zawsze jednak jest to proces korzystny z punktu widzenia człowieka. W perspektywie konieczne może być ich ponowne zagospodarowanie. Tereny takie mogą być także miejscem występowania wielu cennych nieleśnych zbiorowisk roślinnych.

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* jan.zarzycki@urk.edu.pl

* Badania zostały zrealizowane w ramach projektu DS. 3331 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

W takiej sytuacji dla podjęcia decyzji o przywróceniu poszczególnych powierzchni do użytkowania pomocna może być wieloaspektowa ocena warunków siedliskowych. Kompleksowa ich ocena możliwa jest przy zastosowaniu fitoindykacji [Roo-Zielińska 2004]. Najczęściej stosowaną jest metoda liczb wskaźnikowych. Wykorzystywana jest w ocenie siedlisk leśnych [de Vries i in. 2003, Roo-Zielińska i in. 2009], łąkowych [Jastrzębska i in. 2007, Zarzycki i in. 2011], rekultywowanych [Turisová i in. 2016, Zarzycki i Zajac 2012] i polnych w oparciu o występujące w uprawach chwasty [Affek-Starczewska i Skrzypczyńska 2005, Łabza i in. 1996, Trąba 2011, Ziemińska-Smyk 2007].

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania roślinności odłogów w gminie Trzebina do oceny warunków siedliskowych i stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, uwzględniając kompleksy przydatności rolniczej gleb.

MATERIAŁ I METODY

Gmina Trzebina jest położona w południowo-wschodniej części Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Klimat jest tu umiarkowanie ciepły i umiarkowanie wilgotny. Średnia roczna temperatura wynosi 7,8°C, a ilość opadów waha się od 770 do 880 mm [Program ochrony]. Na obszarze gminy obserwowane jest znaczne zróżnicowanie geologiczne. Utwory najmłodsze (jura) występują we wschodniej części gminy. W zachodniej części występują utwory geologiczne charakterystyczne dla trasy, permu i karbonu. [Program ochrony ...]. Konsekwencją tak dużego zróżnicowania geologicznego jest różnorodność gleb powstałych na bazie różnych skał macierzystych. Na dużym obszarze dominują gleby bielcowe i płowe, jednak na terenach użytkowanych rolniczo najczęściej występują gleby brunatne, a także rędziny [Kiryk 1994]. Z występowaniem węglanowych skał triasowych – dolomitów kruszczonośnych związana jest obecność się złóż rud metali kolorowych [Jędrzejczyk-Korycińska 2009], głównie ołowiu, srebra, żelaza i cynku. Eksploatacja, często metodami odkrywkowymi, była prowadzona od średniowiecza. Bardzo intensywnie rozwijało się także przetwórstwo wydobytych rud metali kolorowych [Godzik i Woch 2015]. Spowodowało to powstanie obszarów o wysokiej zawartości w glebie tych metali. Dziś część terenów jest zalesiona, część istnieje jako nieużytkowane hałdy. Wiele jednak zostało zagospodarowane jako łąki, pastwiska lub grunty orne [Stefanowicz i in. 2014].

Na obszarze gminy Trzebina, w latach 2010–2012, wyznaczono 75 powierzchni badawczych na terenach wyłączonych z użytkowania rolniczego. Na mapach topograficznych z lat 80. są one zaznaczone jako grunty orne. Z każdej powierzchni o wymiarach 5 x 5 m pobrano zbiorczą próbę glebową z warstwy 0–20 cm oraz wykonano zdjęcie fitosocjologiczne, stosując zmodyfikowaną skalę Braun-Blanqueta. Klasyfikację syntaksonomiczną gatunków dokonano według Matuszkiewicza [2006], a dla porównania udziału gatunków charakterystycznych dla klas fitosocjologicznych obliczono wartość systematyczną grupy gatunków [Pawłowski 1977]. Pokrycie powierzchni przez grupy gatunków obliczono poprzez przeliczenie skali Braun-Blanquetą na wartości procentowe. Średnią wysokość roślin uzyskano z czterech pomiarów na każdej powierzchni. Ponadto dla poszczególnych zdjęć fitosocjologicznych obliczono wartości liczb wskaźnikowych [Ellenberg i in. 1992] w odniesieniu do temperatury (T), uwilgotnienia (F), odczynu gleby (R) i jej zasobności w azot (N).

Dla każdej próbki glebowej dokonano oceny składu granulometrycznego, odczynu w H₂O i w KCl, zawartości materii organicznej i przewodności elektrolitycznej. Oznaczenie całkowitej zawartości Cd, Pb, Cu i Zn w glebie wykonano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej po mineralizacji w mieszaninie kwasu azotowego (V) i chlorowego (VII) w stosunku 3:1. Ogólną charakterystykę parametrów fizyko-chemicznych zawiera tabela 1, a szczegółowe wyniki ana-

Tabela 1. Fizyczno-chemiczne parametry gleb
Table 1. Physico-chemical parameter of soil

Parametr/Parameter	Średnia Mean	Min. Min.	Mak. Max.	Współczynnik zmienności Variation coefficient (%)
Materia organiczna/Organic matter (%)	3,8	1,3	8,1	37,8
pH _{KCl}	5,9	4,4	7,3	11,3
Przewodność elektrolityczna/Electrical conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	175,5	32,1	464,1	55,8
Piasek/Sand (%)	68,4	19,3	95,0	28,4
Pył/Silt (%)	22,1	3,1	74,4	75,1
Il/Clay (%)	9,5	0,1	37,1	61,0
Zawartość Cd w glebie/Soil Cd content (mg kg^{-1})	6,2	0,9	43,5	104,1
Zawartość Pb w glebie/Soil Pb content (mg kg^{-1})	204,2	19,3	924,1	99,8
Zawartość Zn w glebie/Soil Zn content (mg kg^{-1})	722,0	82,3	4594,0	111,1
Zawartość Cu w glebie/Soil Cu content (mg kg^{-1})	19,7	2,6	177,4	120,5

liz chemicznych przedstawiono w innych pracach [Petryk 2016a, 2016b, 2016c, 2016d]. Typy kompleksów glebowo-rolniczych, na którym znajdowała się powierzchnia badawcza określono na podstawie map glebowo-rolniczych [Małopolska...].

W analizie statystycznej zmienne nie spełniające warunku normalności rozkładu zostały poddane odpowiedniej transformacji. Obliczenia wykonano za pomocą programu Statistica 10.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na badanym obszarze zanotowano występowanie 212 gatunków roślin naczyniowych [Petryk 2016e]. Najczęściej występujące gatunki przedstawiono w tabeli 2. Pod względem fitosocjologicznym dominowały gatunki łąkowe z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* oraz ruderalne i półruderalne z klasy *Agropyreteae intermedio-repentis* i *Artemisietea vulgaris*. Na uwagę zasługuje zauważalny udział gatunków muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea* i zbiorowisk okrajkowych z klasy *Trifolio-Geranietea sanguinei*. Podobne wyniki z pobliskich okolic Olkusza podawane są przez Szarek-Lukaszewską i Grodzińską [2011]. Jak na obszary rolnicze, względnie niewielkie okazało się występowanie gatunków związanych z ekosystemami polnymi (klasa *Stelarietea mediae*) (tab. 3), co może wynikać z długiego czasu, który upłynął od zakończenia użytkowania rolniczego tych terenów.

Wartości wskaźnika warunków termicznych w najmniejszym stopniu z uwzględnianych czynników różnicują wybrane siedliska. Mieszczą się one w zakresie 5,0 do 6,0 (rys. 1), co

Tabela 2. Syntetyczna tabela fitosocjologiczna roślinności odłogów w Trzebinii
 Table 2. Synthetic phytosociological table of fallow land vegetation in Trzebinia

Gatunek/Species	Stalność Constancy (%)	Gatunek/Species	Stalność Constancy (%)
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>		<i>Stelarietea mediae</i>	
<i>Achillea millefolium</i>	77	<i>Vicia tetrasperma</i>	51
<i>Arrhenatherum elatius</i>	65	<i>Myosotis arvensis</i>	21
<i>Galium mollugo</i>	59	<i>Viola arvensis</i>	15
<i>Rumex acetosa</i>	57	<i>Lactuca serriola</i>	11
<i>Dactylis glomerata</i>	56	<i>Tussilago farfara</i>	11
<i>Festuca rubra</i>	51	<i>Trifolio-Geranietea</i>	
<i>Crepis biennis</i>	45	<i>Coronilla varia</i>	32
<i>Poa pratensis</i>	40	<i>Vicia sepium</i>	13
<i>Vicia cracca</i>	37	<i>Agrimonia eupatoria</i>	12
<i>Knautia arvensis</i>	36	<i>Campanula rapunculoides</i>	12
<i>Phleum pratense</i>	36	<i>Artemisieteae vulgaris</i>	
<i>Daucus carota</i>	32	<i>Solidago gigantea</i>	51
<i>Agrostis gigantea</i>	32	<i>Melandrium album</i>	47
<i>Taraxacum officinale</i>	28	<i>Cirsium arvense</i>	44
<i>Holcus lanatus</i>	25	<i>Artemisia vulgaris</i>	25
<i>Ranunculus repens</i>	19	<i>Melilotus officinalis</i>	12
<i>Tragopogon pratensis</i>	16	Inne/Others	
<i>Pimpinella major</i>	15	<i>Plantago lanceolata</i>	36
<i>Carex hirta</i>	15	<i>Agrostis capillaris</i>	28
<i>Rumex crispus</i>	13	<i>Senecio jacobaea</i>	28
<i>Heracleum sphondylium</i>	12	<i>Veronica chamaedrys</i>	28
<i>Trifolium repens</i>	12	<i>Rubus plicatus</i>	23
<i>Leontodon hispidus</i>	11	<i>Thymus pulegioides</i>	21
<i>Poa trivialis</i>	11	<i>Pimpinella saxifraga</i>	16
<i>Ranunculus acris</i>	11	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	15
<i>Agropyreteae intermedio-repentis</i>		<i>Sedum maximum</i>	15
<i>Elymus repens</i>	72	<i>Aegopodium podagraria</i>	13
<i>Convolvulus arvensis</i>	49	<i>Rumex acetosella</i>	13
<i>Equisetum arvense</i>	43	<i>Cornus sanguinea</i>	12
<i>Calamagrostis epigeios</i>	37	<i>Crataegus monogyna</i>	12
<i>Festuco-Brometea</i>		<i>Medicago lupulina</i>	11
<i>Centaurea scabiosa</i>	16	<i>Fragaria vesca</i>	11
<i>Euphorbia cyparissias</i>	16		

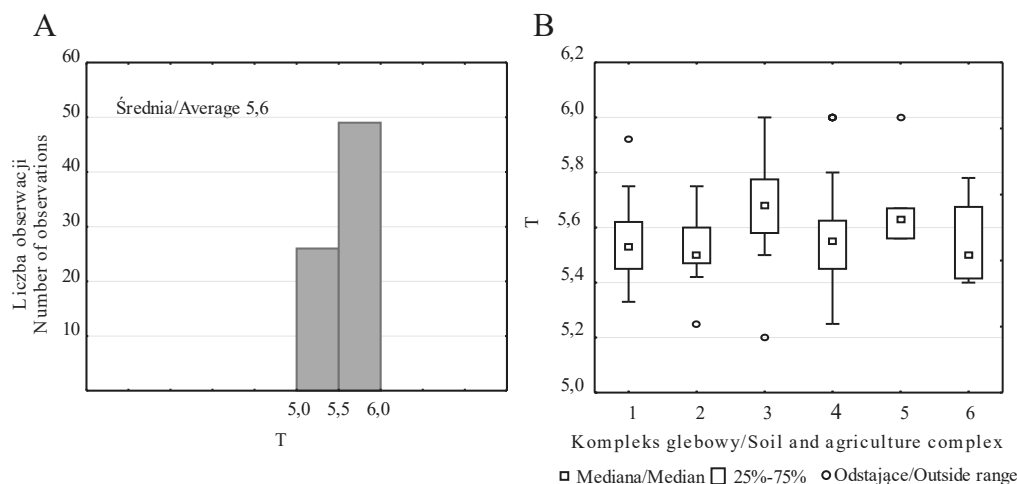
Tylko gatunki o stałości >10% zostały uwzględnione/Only species with constancy >10% were included

Tabela 3. Charakterystyka fitosocjologiczna roślinności odłogów Trzebini
 Table 3. Phytosociological characteristic of fallow land vegetation in Trzebina

Klasa fitosocjologiczna Phytosociological class	Liczba gatunków Number of species	Łączne pokrycie Total cover	Przeciętna stałość klasy Average class constancy	Udział zbiorowy klasy Collective class share	Wartość systematyczna klasy Systematic class value
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	51	4038	17,8	41,8	7,4
<i>Agropyretea intermedio-repentis</i>	6	2242	34,9	9,7	3,4
<i>Artemisietea vulgaris</i>	22	1215	10,7	10,9	1,2
<i>Stelarietea mediae</i>	17	211	8,5	6,7	0,6
<i>Trifolio-Geranietea</i>	11	218	8,7	4,4	0,4
<i>Festuco-Brometea</i>	17	455	5,6	4,4	0,2
Inne/Others	82	1382	5,9	22,2	1,3

odpowiada siedliskom umiarkowanie ciepłym. Średnia wartość dla powierzchni nie przekraczała 6, choć na badanym obszarze występowały gatunki siedlisk ciepłych (klasa *Festuco-Brometea*) (tab. 3). W polskich warunkach klimatycznych zróżnicowanie tego wskaźnika jest stosunkowo niewielkie [Hochół 2001, Jastrzębska i in. 2007, Trąba 2011], gdyż dotyczy nie tyle wymagań co do temperatury okresu wegetacji, lecz bardziej optimum termicznego w strefach klimatyčno-roślinnych [Ellenberg i in. 1992]. Głównym czynnikiem różnicującym siedliska pod względem termicznym w Polsce są wysokość nad poziomem morza i nachylenie stoku w stosunku do stron świata [Hochół 2001, Zarzycki i in. 2011]. Należy zauważyć, że teren gminy Trzebina jest stosunkowo mało zróżnicowany pod tym względem. Nie stwierdzono także istotnego statystycznie powiązania wskaźnika termicznego z kompleksami glebowo-rolniczymi (rys. 1), chociaż kompleksy żytni słaby i bardzo słaby charakteryzowały się nieco wyższymi wartościami termicznymi. Zależności takie obserwowano także na innych obszarach [Affek-Starczewska i Skrzyczyńska 2005, Trąba 2011]. Wskaźnik temperatury był istotnie statystycznie skorelowany ze składem granulometrycznym gleby i zawartością próchnicy (tab. 4). Duży udział piasku, a mały części sypialnych i materii organicznej sprzyja nagrzewaniu się gleby.

Wskaźnik uwilgotnienia wahał się w zakresie od 3,0 do 6,4 ale większość obserwacji mieściła się w przedziale od 4,5 do 5,5 (rys. 2). Były to więc siedliska umiarkowanie wilgotne (świeże), odpowiednie z punktu widzenia upraw rolnych [Ellenberg i in. 1992]. Spośród badanych wskaźników, uwilgotnienie charakteryzowało się największym współczynnikiem zmienności (11,7%). Podobnie duże jego zróżnicowanie stwierdzili inni autorzy [Affek-Starczewska i Skrzyczyńska 2005, Trąba 2011, Ziemińska-Smyk 2007]. Warunki wilgotnościowe są zwykle najbardziej zmienne, gdyż związane są zarówno z położeniem w reliefie jak i właściwościami gleb. Szczególnie dużą zmienność obserwuje się na użytkach zielonych, gdyż poszczególne gatunki łąkowe mają bardzo zróżnicowane zakresy wymagań wilgotnościowych. Użytki zielone występują zarówno na glebach bardziej wilgotnych (np. zbiorowiska z rzędu *Molinietalia*) jak i bardziej suchych (np. zbiorowiska z klasy *Festuco-Brometea*) niż rośliny uprawne. Spore zróżnicowanie wskaźnika uwilgotnienia stwierdzono w obrębie wszystkich kompleksów glebo-



Kompleksy glebowo-rolnicze: 1 – pszeniczny wadliwy, 2 – żytni bardzo dobry, 3 – żytni dobry, 4 – żytni słaby, 5 – żytni najslabszy, 6 – zbożowo-pastewny słaby/ Soil and agricultural complexes: 1 – wheat defective, 2 – rye very good, 3 – rye good, 4 – rye poor, 5 – rye very poor, 6 – cereal-fodder weak

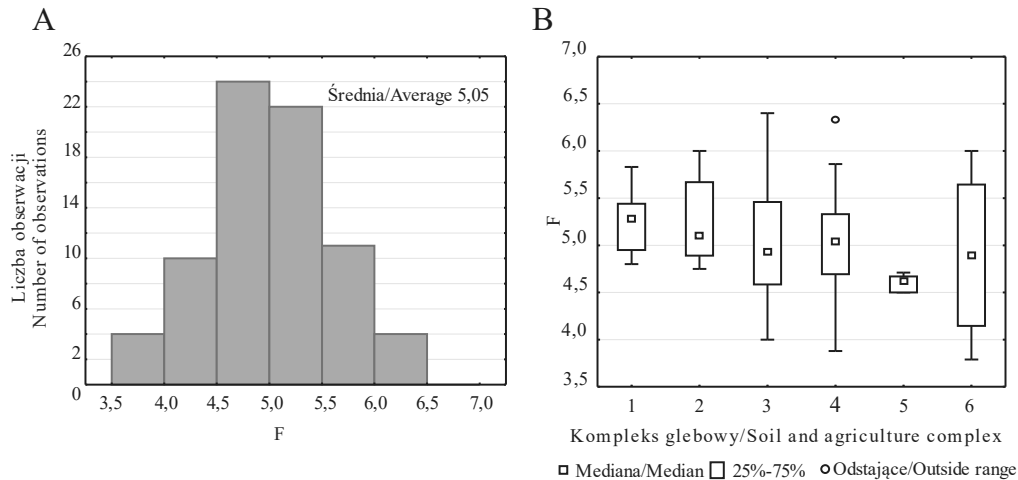
Rys. 1. Wskaźnik temperatury (T). Liczba zdjęć fitosocjologicznych w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika – A; zróżnicowanie wartości wskaźnika dla kompleksów glebowo-rolniczych – B
Fig. 1. Temperature indicator value (T). Number of phytosociological relevé in classes of the indicator values – A; Variability of the indicator value for types of soil and agricultural complexes – B

Tabela 4. Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy liczbami wskaźnikowymi a analizowanymi parametrami gleby i roślinności.

Table 4. Pearson correlation coefficients between indicator values and analysed soil and vegetation parameters.

Parametr/Parameter	T	F	R	N
Zawartość Cd w glebie/Soil Cd content	-0,12	-0,24	0,48	0,00
Zawartość Pb w glebie/Soil Pb content	-0,11	-0,16	0,44	-0,01
Zawartość Zn w glebie/Soil Zn content	-0,11	-0,20	0,55	0,03
Zawartość Cu w glebie/Soil Cu content	-0,26	-0,07	0,29	0,06
pH _(KCl)	-0,08	-0,22	0,56	0,06
Przewodność elektrolityczna/Electrical conductivity	-0,24	-0,12	0,52	0,19
Piasek/Sand	0,28	-0,11	-0,12	-0,27
Pył/Silt	-0,25	0,12	0,00	0,24
Il/Clay	-0,25	0,05	0,40	0,21
Materia organiczna/Organic matter	-0,31	0,03	0,47	0,21
Całkowite pokrycie roślinnością/Total plant cover	-0,14	0,30	0,18	0,24
Średnia wysokość roślin/Average plant height	-0,05	0,37	0,06	0,34

Wartości istotne ($P > 0,95$) przedstawiono pogrubioną czcionką/Statistically significant values ($P > 0,95$) in bold

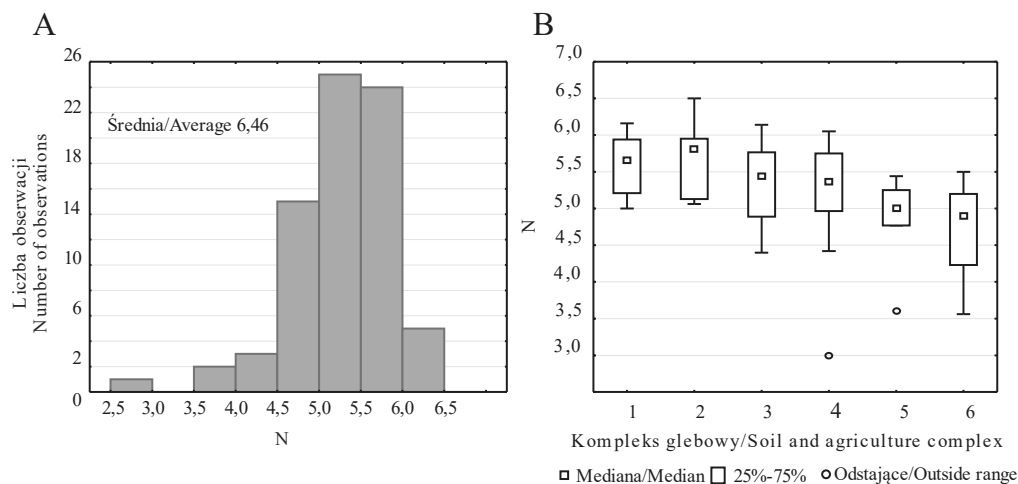


Kompleksy glebowo-rolnicze jak na rysunku 1/Soil and agricultural complexes as in figure 1

Rys. 2. Wskaźnik wilgotności (F). Liczba zdjęć fitosocjologicznych w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika – A; zróżnicowanie wartości wskaźnika dla kompleksów glebowo-rolniczych – B
Fig. 2. Moisture indicator value (F). Number of phytosociological relevé in classes of the indicator values – A; Variability of the indicator value for types of soil and agricultural complexes – B

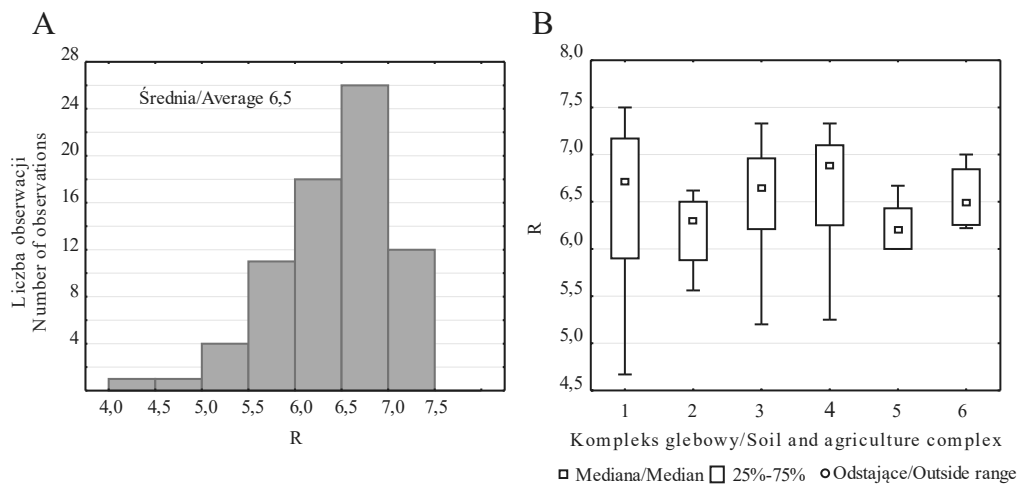
wo-rolniczych, za wyjątkiem żytniego bardzo słabego, charakteryzującego się siedliskami relatywnie bardziej suchymi (rys. 2). Wskaźnik uwilgotnienia był skorelowany z produktywnością, wyrażoną pokryciem powierzchni przez roślinność i jej średnią wysokością (tab. 4). Może to wskazywać, że dostępność wody jest na badanym obszarze czynnikiem ograniczającym plonowanie roślin.

Wskaźnik zasobności gleby w azot (rys. 3) wykazywał dość znaczne zróżnicowanie, tj. od 3,0 do 6,5 (współczynnik zmienności 11,7%). Dla większości powierzchni zawierał się jednak w zakresie od 4,5 do 6,0. Według Ellenberga [1992], były to gleby umiarkowanie zasobne i zasobne w mineralne związki azotowe. Nie stwierdzono wprawdzie istotnej statystycznie różnicy średniego wskaźnika zasobności w N pomiędzy kompleksami glebowymi, jednak analizując wykres (rys. 3) można zauważyć trend malejącej wartości tego wskaźnika wraz z pogarszaniem się przydatności rolniczej gleb. Najwyższe wartości stwierdzono w kompleksach pszennym wadliwym i żytnim bardzo dobrym, a najniższe w zbożowo-pastewnym słabym. Wartość tego wskaźnika wykazuje zwykle duże zróżnicowanie zarówno w siedliskach naturalnych [de Vries i in. 2003, Roo-Zielińska i in. 2009], półnaturalnych [Zarzycki i in. 2011], jak i polach oraz odłogach [Affek-Starzecwska i Skrzyczyńska 2005, Hochół 2001, Trąba 2011]. Zasobność gleb w składniki pokarmowe uzależniona jest od czynników naturalnych, takich jak rodzaj skały macierzystej, położenie w reliefie oraz oddziaływań antropogenicznych, m. in. nawożenia i opadu zanieczyszczeń. W przypadku odłogów istotny jest także czas, jaki upłynął od zaniechania uprawy. Najwyższe wartości wskaźnika N obserwuje się w pierwszych latach od zaprzestania wynoszenia składników z plonem [Affek-Starzecwska i in. 2006]. Wskaźnik zasobności gleby w azot skorelowany był dodatkowo z pokryciem i średnią wysokością roślin, świadczących o produktywności, i z zawartością części pylastych, a ujemnie z zawartością piasku w glebie (tab. 4).



Kompleksy glebowo-rolnicze jak na rysunku 1/Soil and agricultural complexes as in figure 1

Rys. 3. Wskaźnik żyzności (N). Liczba zdjęć fitosocjologicznych w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika – A; zróżnicowanie wartości wskaźnika dla kompleksów glebowo-rolniczych – B
Fig. 3. Fertility indicator value (N). Number of phytosociological relevé in classes of the indicator values – A; Variability of the indicator value for types of soil and agricultural complexes – B



Kompleksy glebowo-rolnicze jak na rysunku 1/Soil and agricultural complexes as in figure 1

Rys. 4. Wskaźnik odczynu (R). Liczba zdjęć fitosocjologicznych w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika – A; zróżnicowanie wartości wskaźnika dla kompleksów glebowo-rolniczych – B
Fig. 4. Reaction indicator value (R). Number of phytosociological relevé in classes of the indicator values – A; Variability of the indicator value for types of soil and agricultural complexes – B

Odpowiada to ogólnie znanej prawidłowości mniejszej żyzności gleb lekkich. W przeprowadzonych badaniach korelacja ta była istotna statystycznie, lecz stosunkowo słaba.

Wskaźnik odczynu gleby zawierał się w przedziale 4,3–7,5; wartości poniżej 5,5 odnotowano jednak sporadycznie (rys. 4). Według Ellenberga [1992] gleby o takich wartościach wskaźnika można zaliczyć do umiarkowanie kwaśnych, słabo kwaśnych i słabo zasadowych. Nie stwierdzono zależności pomiędzy typem kompleksu przydatności rolniczej i średnim wskaźnikiem żyzności. Zauważyć można jednak bardzo duże zróżnicowanie tego wskaźnika w obrębie niektórych kompleksów. Może to wynikać z występowania nietypowych lub zdegradowanych powierzchni. Na badanym obszarze wydobywanie i przetwarzanie rud metali odbywało się od bardzo dawna i często metodą drażenia niewielkich szybów, co spowodowało przemieszczenie pewnej ilości skały macierzystej na powierzchnię (tak zwane warpie). Po pewnym czasie obszary takie mogły być przekształcone w grunty orne [Stefanowicz i in. 2014], charakteryzujące się mozaiką płatów o nietypowych parametrach glebowych. Znaczne zróżnicowanie wskaźnika odczynu stwierdzano w większości badań na polach ornych [Hochół 2001, Ziemińska-Smyk 2007]. Odczyn gleby, podobnie jak jej zasobność w azot, jest ważnym czynnikiem wpływającym na rodzaj i wielkość produkcji rolnej. Otrzymane wyniki wskazują na mniejszą kwasowość gleb, niż stwierdzoną na odłogach Podlasia [Affek-Starczewska i in. 2006]. Stosunkowo wysokie wartości tego wskaźnika mogą być także związane z występowaniem wapieni w podłożu [Jędrzejczyk-Korycińska 2009]. Wskaźnik ten, jako jedyny skorelowany był z zawartością kadmu, cynku, miedzi i ołowiu w glebie (tab. 4). Odpowiada to powszechnie znanej zależności zmniejszania się mobilności, a więc zatrzymywaniu tych pierwiastków w glebie w warunkach wyższego odczynu [Kabata-Pendias 2011].

PODSUMOWANIE

Porównanie uzyskanych wskaźników bioindykacyjnych z parametrami gleby przeprowadzonych metodami analitycznymi wskazuje na możliwość ich wykorzystania w ocenie przydatności rolniczej gleb. Szczególnie dotyczy to wilgotności i zasobności gleb w azot, które to wskaźniki na badanym obszarze były najsilniej skorelowane z parametrami produktywności (pokrycie i średnia wysokość roślin). Stwierdzono natomiast brak takiej zależności w przypadku wskaźnika odczynu, uważanego za istotny czynnik plonotwórczy. Może to być związane z dość wysokim odczynem gleb, który w tym wypadku nie był czynnikiem ograniczającym plonowanie. Z wyjątkiem wskaźnika wilgotności (F), pozostałe były skorelowane ze składem granulometrycznym gleby; jednym z głównych parametrów decydujących o możliwości uprawy różnych gatunków roślin czy kierunku rozwoju spontanicznej roślinności. W przeciwieństwie do wyników badań innych autorów [Affek-Starczewska i Skrzyńska 2005, Trąba 2011], w stosunkowo niewielkim stopniu średnie liczby wskaźnikowe wykazywały zróżnicowanie w poszczególnych kompleksach przydatności rolniczej. Należy jednak zaznaczyć, że zakres zmienności badanych wskaźników na omawianym obszarze był duży w obrębie poszczególnych kompleksów. Przyczyną może być zbyt mała liczba próbek pobranych z poszczególnych kompleksów glebowych oraz generalizacja zróżnicowanych powierzchni, dokonana podczas tworzenia mapy kompleksów przydatności rolniczej. W przypadku parametrów glebowych, takich jak odczyn i zasobność w azot wpływ na ich wartości zapewne miały także intensywność użytkowania w przeszłości i okres, jaki upłynął od zaprzestania użytkowania.

WNIOSKI

1. Gleby badanych odłogów charakteryzowały się stosunkowo wysoką żyznością i niską kwasowością, ocenianą za pomocą liczb wskaźnikowych.
2. Zróżnicowany skład florystyczny terenów wyłączonych z użytkowania rolniczego, a zwłaszcza duży udział gatunków łąkowych świadczy o różnym czasie, jaki upłynął od zaprzestania uprawy. Czynniki te powinny być w przyszłości uwzględniane w badaniach nad odłogami.
3. Wartości wskaźnikowe właściwie charakteryzują parametry glebowe w punktach badawczych, ale średnie wartości tych wskaźników słabo różnicują kompleksy przydatności rolniczej.
4. Zróżnicowanie roślinności odłogów w Trzebini, wyrażone liczbami wskaźnikowymi, nie odzwierciedla bezpośrednio zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Jedynie wskaźnik odzysku (R) pośrednio wskazuje na możliwość pobierania metali ciężkich przez rośliny.

PIŚMIENNICTWO

- Affek-Starczewska A., Skrajna T, Stachowicz P. 2006. Bioindykacyjna charakterystyka odłogów Podlaskiego Przełomu Bugu. *Fragm. Agron.* 23(4): 174–182.
- Affek-Starczewska A., Skrzyczyńska J. 2005. Liczby TWRNG Ellenberga w grupach roślin uprawnych Wysoczyzny Kałuszyńskiej. *Fragm. Agron.* 22(4): 132–145.
- de Vries W., Reinds G.J., Posch M., Sanz M.J., Krause G.H.M., Calatayud V. Renaud J.P., Dupouey J.L., Sterba H., Vel E.M., Dobbertin M., Gundersen P., Voogd J.C.H. 2003. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2003 Technical Report. EC, UN/ECE 2003, Brussels, Geneva.
- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobot.* 18: 1–258.
- Godzik B., Woch M. 2015. History of mining in the Olkusz region. W: Natural and historical values of the Olkusz Ore-bearing Region. Godzik B. (red.) Kraków, Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences: 29–36.
- Hochół T. 2001. Flora i zbiorowiska chwastów zbóż w Beskidzie Wyspowym w zależności od usytuowania siedlisk w rzeźbie terenu. *Fragm. Agron.* 18(3): 7–122.
- Jastrzębska M., Szarejko T., Hołdyński C., Jastrzębski W. P. 2007. Assessment of grassland habitats on the Popielno peninsula by phytoindication methods. *Pol. J. Nat. Sci.* 22(4): 557–573.
- Jędrzejczyk-Korycińska M. 2009. Obszary dawnej eksploatacji złóż cynkowo-olowiowych – ich bogactwo florystyczne a możliwości ochrony. *Probl. Ekol. Krajobrazu* 24: 71–80.
- Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, DC, ss. 520.
- Kiryk F. 1994. Trzebinia. Zarys dziejów miasta i regionu. Wyd. Secesja, Kraków, ss. 725.
- Łabza T., Hochół T., Stupnicka-Rodzinkiewicz E., Puła J. 1996. Charakterystyka ekologiczna siedlisk polnych województwa krakowskiego przy zastosowaniu autoekologicznej metody Ellenberga. Cz. II. Charakterystyka kompleksów glebowo-rolniczych. *Acta Agrobot.* 13(1–2): 23–35.
- Małopolska Infrastruktura Informacji Przestrzennej (<http://miip.geomalopolska.pl/imap/>)
- Marks M., Nowicki J. 2002. Aktualne problemy gospodarowania ziemią rolniczą w Polsce. Cz. I. Przyczyny odłogowania gruntów i możliwości ich rolniczego zagospodarowania. *Fragm. Agron.* 19(1): 58–67.
- Matuszkiewicz W. 2006. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN Warszawa, ss. 536.
- Pawłowski B. 1977. Skład i budowa zbiorowisk roślinnych oraz metody ich badania. W: Szata roślinna Polski. Szafer W., Zarzycki K. (red.) PWN Warszawa, T.1: 237–268.
- Petryk A. 2016a. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland I Cadmium. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas IV/1*: 1243–1256.

- Petryk A. 2016b. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland 2 Zinc. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas IV/3*: 1581–1592.
- Petryk A. 2016c. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland 3 Lead. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas IV/3*: 1689–1702.
- Petryk A. 2016d. Assessment of the content of heavy metals in plants and soil in the area of the Trzebinia municipality, Poland 4 Copper. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas IV/4*: 1711–1721.
- Petryk A. 2016e. Species composition of vegetation cover in the fallow lands in the area of the Trzebinia municipality. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas IV/2*: 1399–1409.
- Program Ochrony Środowiska dla Gminy Trzebinia na lata 2010–2013 wraz z przeprowadzaniem oceny strategicznej oddziaływania programu ochrony środowiska.
- Roo-Zielińska E. 2004. Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizyczno–geograficznego: podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod. *Prace Geograficzne* 199, ss. 258.
- Roo-Zielińska E., Solon J., Degórski M. 2009. Zróżnicowanie borów sosnowych jako efekt uwarunkowań geograficznych i siedliskowych od Holandii do Irkucka (5°91'–104°8' E). *Przegl. Geograficzny* 81: 5–46.
- Stefanowicz A.M., Woch M.W., Kapusta P. 2014. Inconspicuous waste heaps left by historical Zn-Pb mining are hot spots of soil contamination. *Geoderma* 235–236: 1–8.
- Szarek-Lukaszewska G, Grodzińska K. 2011. Grasslands of a Zn-Pb post-mining area (Olkusz Ore-bearing Region, S Poland). *Pol. Bot. J.* 56(2): 245–260.
- Trąba C. 2011. Fitoindykacyjna charakterystyka niżowych kompleksów glebowo-rolniczych województwa Podkarpackiego. *Fragm. Agron.* 28(1): 87–95.
- Turisová I., Sabo P., Štrba T., Koróny S., Andráš P., Širka P. 2016. Analyses of floristic composition of the abandoned Cu-dump field Piesky (Staré Hory Mountains, Slovakia). *Web Ecology* 16: 97–111.
- Zarzycki J., Kopeć M., Bedla D. 2011. Ocena zróżnicowania siedlisk użytków zielonych pasma Radziejowej (Beskid Sądecki) metodą fitoindykacyjną. *Fragm. Agron.* 28(1): 115–123.
- Zarzycki J., Zajac E. 2012. Plant species diversity in the postindustrial sites – soda waste dumps case study. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 11(3): 91–101.
- Ziemińska-Smyk M. 2007. Ocena warunków siedliskowych pól uprawnych otuliny Roztoczańskiego Parku Narodowego metodą fitoindykacyjną Ellenberga. *Fragm. Agron.* 24(2): 427–435.

J. ZARZYCKI, A. PETRYK

PHYTOINDICATION EVALUATION OF FALLOW LAND IN HEAVY METAL POLLUTED REGION

Summary

The research was carried out in years 2010–2012 on fallow land located in the municipality of Trzebinia (Małopolska), region heavily contaminated with heavy metals. The plant species composition, vegetation cover and its average height was determined on 75 study plots. The Ellenberg indicator values for humidity (F), pH (R), fertility (N) and temperature (T) were calculated. From each plot, soil samples were collected to determine granulometric composition, organic matter content, electrolytic conductivity, soil reaction and Cd, Zn, Pb, Cu content. The species composition of vegetation was dominated by grassland and ruderal species. The largest variation of indicator values was found in relation to soil fertility and humidity. The T, R, N indicator values were correlated with the grain size distribution of the soil as well as the content of organic matter and the electrolytic conductivity. The F and N indicator values were related to the productivity expressed by vegetation cover and average plant height, and the R indicator value correlated with the content of heavy metals in soil. The soil and agricultural complexes only slightly differ in average indicator values.

Key words: indicator values, fallow land vegetation, heavy metal pollution

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 2.10.2018

Do cytowania – *For citation*

Zarzycki J., Petryk A. 2018. Fitoindykacyjna ocena warunków siedliskowych odłogów na obszarze zanieczyszczonym metalami ciężkimi. *Fragm. Agron.* 35(4): 145–156.